

Docket No.: 50090-339

PATENT

JC979 U.S. PRO
09/960356
09/24/01

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of :
Takashi INBE :
Serial No.: Group Art Unit:
Filed: September 24, 2001 Examiner:
For: SEMICONDUCTOR DEVICE FOR DETECTING NEUTRON, AND METHOD FOR
THE FABRICATION

#3 | Priority
| paper
| 11-13-01
| R Studies

CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

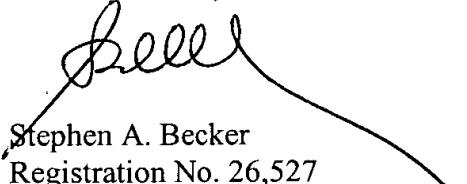
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims the priority of:

Japanese Patent Application No. 2001-070071, filed March 13, 2001

cited in the Declaration of the present application. A Certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Stephen A. Becker
Registration No. 26,527

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 SAB:prp
Date: September 24, 2001
Facsimile: (202) 756-8087

A463US

50090-339

IN BE

September 24, '01

McDermott, Will & Emery

日本国特許庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

09/960356 pro
09/960356
09/960356
09/960356



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

2001年 3月13日

出願番号

Application Number:

特願2001-070071

出願人

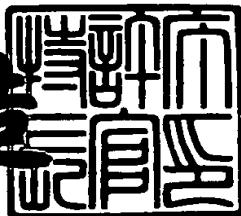
Applicant(s):

三菱電機株式会社

2001年 4月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3027507

【書類名】 特許願
【整理番号】 529640JP01
【提出日】 平成13年 3月13日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/00
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内
【氏名】 印部 貴之
【特許出願人】
【識別番号】 000006013
【氏名又は名称】 三菱電機株式会社
【代理人】
【識別番号】 100082175
【弁理士】
【氏名又は名称】 高田 守
【電話番号】 03-5379-3088
【選任した代理人】
【識別番号】 100066991
【弁理士】
【氏名又は名称】 葛野 信一
【電話番号】 03-5379-3088
【選任した代理人】
【識別番号】 100106150
【弁理士】
【氏名又は名称】 高橋 英樹
【電話番号】 03-5379-3088
【選任した代理人】
【識別番号】 100108372

【弁理士】

【氏名又は名称】 谷田 拓男

【電話番号】 03-5379-3088

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 049397

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 中性子の量を検出するための半導体装置であって、
半導体基板と、
前記半導体基板上に形成された同位体¹⁰Bを含むホウ素含有層とを備えたこ
とを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記ホウ素含有層の下層における前記半導体基板の表面領域
に形成されたPN接合部を備え、
前記中性子と前記同位体¹⁰Bとの反応により放出されたα線によって前記P
N接合部の空乏層において電子-正孔対を発生させ、

前記電子-正孔対の電荷量に基づいて前記中性子の量を検出するようにしたこ
とを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項3】 前記中性子を検出する領域とは別の領域における前記半導体
基板上に所定の半導体素子からなる解析用回路部を備え、
前記解析用回路部によって前記電子-正孔対による電荷の解析を行うことを特
徴とする請求項2記載の半導体装置。

【請求項4】 前記解析用回路部における前記ホウ素含有層の前記同位体¹⁰B
の濃度を前記中性子を検出する領域の前記ホウ素含有層の前記同位体¹⁰B
の濃度よりも低濃度としたことを特徴とする請求項3記載の半導体装置。

【請求項5】 前記解析用回路部に前記ホウ素含有層を設けていないことを
特徴とする請求項3記載の半導体装置。

【請求項6】 中性子を検出する半導体装置の製造方法であって、
半導体基板上の第1の領域に所定の不純物を導入して当該半導体基板の表面領
域にPN接合を形成する第1の工程と、

前記半導体基板の第2の領域に、検出する前記中性子を解析するための解析用
回路部を形成する第2の工程と、

少なくとも前記第1の領域の前記半導体基板上に、前記中性子と反応してα線
を放出する同位体¹⁰Bを含むホウ素含有層を形成する第3の工程とを有するこ

とを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記第3の工程において、前記第1及び前記第2の領域の前記半導体基板上に前記ホウ素含有層を形成し、

前記第1の領域における前記同位体¹⁰Bの濃度よりも前記第2の領域における前記同位体¹⁰Bの濃度が低濃度となるように前記ホウ素含有層を形成することを特徴とする請求項6記載の半導体装置の製造方法。

【請求項8】 前記第3の工程において、前記第1の領域の前記半導体基板上のみに前記ホウ素含有層を形成することを特徴とする請求項6記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は半導体装置及びその製造方法に関し、特に、放射線検出を行う半導体装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来から、中性子の検出方法としてBF₃計数管による検出方法や金属薄膜の放射化による方法が知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、計数管を用いる方法又は金属薄膜の放射化による方法においては、計数管の大きさがかさばるため装置自体の大型化を避けることができなかったり、中性子場のリアルタイムの計測ができないという問題を抱えていた。一方で、放射線検出器として半導体検出器が知られているが、その特性上中性子の検出に用いられることは殆どなかった。また、従来の半導体型検出器は非常にコストが高いという問題もあった。

【0004】

この発明は上述のような問題を解決するために成されたもので、第1の目的は、中性子の検出に適し、小型かつ製造コストを低減させた半導体装置及びその製

造方法を提供することにある。

【0005】

また、第2の目的は、検出した中性子を瞬時にモニタして解析することができる半導体装置及びその製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

この発明の半導体装置は、中性子の量を検出するための半導体装置であって、半導体基板と、前記半導体基板上に形成された同位体¹⁰Bを含むホウ素含有層とを備えたものである。

【0007】

また、前記ホウ素含有層の下層における前記半導体基板の表面領域に形成されたPN接合部を備え、前記中性子と前記同位体¹⁰Bとの反応により放出されたα線によって前記PN接合部の空乏層において電子-正孔対を発生させ、前記電子-正孔対の電荷量に基づいて前記中性子の量を検出するものである。

【0008】

また、前記中性子を検出する領域とは別の領域における前記半導体基板上に所定の半導体素子からなる解析用回路部を備え、前記解析用回路部によって前記電子-正孔対による電荷の解析を行うものである。

【0009】

また、前記解析用回路部における前記ホウ素含有層の前記同位体¹⁰Bの濃度を前記中性子を検出する領域の前記ホウ素含有層の前記同位体¹⁰Bの濃度よりも低濃度としたものである。

【0010】

また、前記解析用回路部に前記ホウ素含有層を設けていないものである。

【0011】

また、この発明の半導体装置の製造方法は、中性子を検出する半導体装置の製造方法であって、半導体基板上の第1の領域に所定の不純物を導入して当該半導体基板の表面領域にPN接合を形成する第1の工程と、前記半導体基板の第2の領域に、検出する前記中性子を解析するための解析用回路部を形成する第2の工

程と、少なくとも前記第1の領域の前記半導体基板上に、前記中性子と反応して α 線を放出する同位体 ^{10}B を含むホウ素含有層を形成する第3の工程とを有するものである。

【0012】

また、前記第3の工程において、前記第1の領域における前記同位体 ^{10}B の濃度よりも前記第2の領域における前記同位体 ^{10}B の濃度が低濃度となるよう前記ホウ素含有層を形成するものである。

【0013】

また、前記第3の工程において、前記第1の領域の前記半導体基板上のみに前記ホウ素含有層を形成するものである。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、本発明のいくつかの実施の形態を図面に基づいて説明する。

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1の半導体装置である半導体型放射線検出器を示す概略断面図である。実施の形態1の半導体装置は、この発明を1チップ型の中性子検出器に適用したものである。先ず、図1に基づいて実施の形態1の半導体装置の構成を説明する。図1に示すように実施の形態1の半導体装置は、放射線検出部1Aと解析用組み込み回路部1Bの2つの領域を有して構成されている。

【0015】

放射線検出部1Aは、入射してきた中性子を検出する検出器として機能する領域である。放射線検出部1Aにおいては、素子分離酸化膜2によって画定されたP型シリコン半導体基板1の表面領域にN型の不純物拡散層が形成され、P型シリコン半導体基板1との間にPN接合が形成されている。そして、PN接合の界面3に対して上下方向の所定範囲に空乏層が形成されている。

【0016】

一方、解析用組み込み回路部1Bにおいては、P型シリコン半導体基板1上にゲート酸化膜6を介してゲート電極5が形成されており、ゲート電極5の両側のP型シリコン半導体基板1の表面領域に形成されたソース／ドレインとしての不

純物拡散層7とともにMOSトランジスタが構成されている。解析用組み込み回路部1Bにおいては、このようなMOSトランジスタや、他の素子を組み合わせた回路によって放射線検出部1Aにおいて検出した放射線を検出するための回路が構成されている。解析用組み込み回路部1Bに構成された回路は、例えば微小信号を增幅する増幅回路、特定の波高のパルスのみを選択するシングルチャネル波高分析回路、2系統のパルス間の時間的一致を調べる同時計数回路、パルスの数を数えるスケーラ回路、パルスの波高の頻度分布を自動的に解析する多重波高分析回路などのいくつかの基本回路を適宜組み合わせて構成されている。

【0017】

そして、放射線検出部1A及び解析用組み込み回路部1BにおけるP型シリコン半導体基板1上にはホウ素(B)含有層4が形成されている。このホウ素含有層4中には、安定同位体であるホウ素Bの他、同位体¹⁰Bが所定の割合で含まれている。

【0018】

一般に、同位体¹⁰Bは天然に存在するホウ素中に約20%含有される。本実施の形態の半導体装置においては、ホウ素含有層4中に一定濃度以上の同位体¹⁰Bを含有させている。

【0019】

このような実施の形態1の半導体装置の製造方法を以下に説明する。先ず、P型シリコン半導体基板1にいわゆるLOCOS法、STI法等によって素子分離酸化膜2を形成して素子活性領域を画定し、放射線検出部1Aの素子活性領域に例えばイオン注入によりN型不純物を導入してP型シリコン半導体基板1との間でPN接合を形成する。一方、解析用組み込み回路部1BにおいてはP型シリコン半導体基板1上にゲート酸化膜6及びゲート電極5を形成し、N型の不純物をイオン注入することによりゲート電極5の両側のP型シリコン半導体基板1に不純物拡散層7を形成する。解析用組み込み回路部1Bにおいては、このようなゲート電極5、不純物拡散層7を含むMOSトランジスタ等の素子によって解析用回路が形成される。その後、放射線検出部1A及び解析用組み込み回路部1BのP型シリコン半導体基板1上にホウ素含有層4を形成して図1に示す構成を得る

。ここで、ホウ素含有層4の形成は、CVD法による成膜と同時に膜中にホウ素を導入させる方法、ホウ素含有層4のベースとなる膜（層間絶縁膜）を形成した後にイオン注入によってホウ素を導入する方法等がある。中性子による放射化は同位体¹⁰Bがホウ素含有層4中に存在する個数に依存し、ホウ素含有層4中における同位体¹⁰Bの濃度が薄くてもホウ素含有層4を厚く形成しておけば良く、逆にホウ素含有層4中における同位体¹⁰Bの濃度が濃い場合にはホウ素含有層4を薄くすることができる。特に、ホウ素含有層4中の同位体¹⁰Bの濃度を、 10^{20} 個/cm³～ 10^{23} 個/cm³程度の範囲内に設定することにより、より好ましくは濃度の上限を 10^{22} 個/cm³以下に設定することにより、中性子と¹⁰Bとを確実に反応させて効率良く α 線を放出させることができる。

【0020】

図2は、実施の形態1の半導体装置の構成を示す斜視図である。図2に示すように、実施の形態1の半導体装置においては、P型シリコン半導体基板1上の領域が複数の領域に分けられており、放射線検出部1Aと解析用組み込み回路部1Bは互いに対角の位置に配置されている。放射線検出部1Aと解析用組み込み回路部1Bとを離間させることにより、例えば中性子の照射を放射線検出部1Aの領域に限定させることができ、解析用組み込み回路部1BのP型シリコン半導体基板1に α 線が放出されることによるソフトエラーの発生を最小限に抑えることができる。

【0021】

次に、実施の形態1の半導体装置における中性子検出の原理及び動作について説明する。先ず、放射線検出部1Aにおいて被検出対象である中性子の照射を受ける。すると、ホウ素含有層4中の同位体¹⁰Bと照射された中性子が反応し、 $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^{7}\text{Li}$ 反応がホウ素含有層4中で行われる。これによりホウ素含有層4から α 線が下層のP型シリコン半導体基板1に向かって放出される。

【0022】

放出された α 線は放射線検出部1AのP型シリコン半導体基板1中に突入し、図1に示すようにPN接合の界面3近傍の空乏層中若しくはその近傍で電子-正孔対8を発生させる。電子-正孔対8の発生は α 線の放出量に応じて行われるた

め、PN接合領域において発生した電子-正孔対8の電荷を収集することにより α 線を検出することができる。従って、PN接合に流れる電流を検出することにより、 α 線の放出量を求めることができ、これから照射された中性子の量を求めることが可能となる。

【0023】

具体的には、空乏層から収集した電荷量からPN接合に流れる電流の脈動を増幅でき、計数若しくは波高分布を測って α 線のエネルギースペクトルを求めることができる。従って、PN接合に流れる電流を解析することにより照射された中性子の量、特性を詳細に求めることができる。

【0024】

解析用組み込み回路部1Bは収集した電荷量から上述の解析を行う機能を有する。解析用組み込み回路部1Bを放射線検出部1Aと同一基板上、すなわち同一チップ上に配置したことによって、電子-正孔対8による電荷を収集した後、瞬時に上述したような解析を行うことができ、入射してきた中性子線を瞬時にモニタすることが可能となる。また、中性子に対する反応部としての放射線検出部1Aから収集電荷を解析する解析用組み込み回路部1Bまでが1チップ上に形成されているため、中性子検出システム全体を非常に小さく形成することができる。

【0025】

以上説明したように、この発明の実施の形態1によれば、ホウ素含有層4中の同位体 ^{10}B と照射された中性子との反応によって α 線をP型シリコン半導体基板1に向かって放出させ、 α 線によってP型シリコン半導体基板1のPN接合近傍に電子-正孔対8を発生させるようにしたため、電子-正孔対8による電荷量を検出して解析することにより、照射された中性子の量、エネルギースペクトル等の特性を求めることが可能となる。

【0026】

また、半導体基板1上に放射線検出部1Aと組み込み回路検出部1Bの双方を設けたことにより、中性子線を瞬時にモニタすることができ、測定対象の中性子場に対する擾乱を極力少なくした状態で高精度な中性子の検出を行うことができる。また、放射線検出部1Aから解析用組み込み回路部1Bまでが1チップ上に

形成されているため、検出器を大幅に小型化することができ、かつコストを大幅に低減させることのできる中性子検出システムを提供することが可能となる。

【0027】

なお、実施の形態1において、 α 線を放出させる核種としては ^{10}B に限定されるものではなく、中性子との作用の結果 α 線を放出する性質の核種であれば ^{10}B の代わりに適用することができる。好適には、中性子と(n, α)反応をする核種であって中性子に対して比較的大きな反応断面積を有する核種が望ましく、例えば、 ^{10}B の代わりにLi等(^6Li 等)の核種を用いることができる。

【0028】

実施の形態2.

図3はこの発明の実施の形態2の半導体装置である半導体型放射線検出器を示す概略断面図である。実施の形態2の半導体装置は、解析用組み込み回路部1Bにおいて、放射線検出部1Aにおけるホウ素含有層4よりも ^{10}B 濃度の低いホウ素含有層4aを形成している点で実施の形態1と相違する。実施の形態2の半導体装置のその他の構成は実施の形態1と同様であるため、図3の説明においては、図1と同一の構成要素については図1と同一の符号を記して説明を一部省略する。

【0029】

このように、解析用組み込み回路部1BにおいてP型シリコン半導体基板1上に ^{10}B 濃度の低いホウ素含有層4aを形成することによって、中性子照射時における解析用組み込み回路1B近傍の ^{10}B (n, α) ^{7}Li 反応を抑えることができ、その結果発生した α 線が解析用組み込み回路部1BのP型シリコン半導体基板1に突入する確率を小さくすることができる。

【0030】

半導体基板に突入した α 線は回路に対してソフトエラーの原因となることがあるが、解析用組み込み回路部1Bにおいては ^{10}B 濃度を低くすることで α 線の突入を低減させることができ、解析用組み込み回路部1Bに構成された解析用回路のソフトエラーに起因する誤動作を極力低減させることができる。

【0031】

実施の形態2の半導体装置の製造は、実施の形態1と同様に放射線検出部1AのP型シリコン半導体基板1にPN接合を形成し、解析用組み込み回路部1Bにゲート電極5及び不純物拡散層7からなるMOSトランジスタ等の素子を形成した後、P型シリコン半導体基板1上にホウ素含有層4, 4bを形成することにより行うが、ホウ素含有層4, 4bの形成の際にホウ素含有層4bの ^{10}B 濃度をホウ素含有層4よりも低濃度にするため、解析用組み込み回路部1Bにおけるホウ素の添加量を放射線検出部1Aよりも少なくするようとする。イオン注入によってホウ素含有層4, 4b中に ^{10}B を導入する場合には、イオン注入は原子の質量でイオン種を分別しているため、レジストマスクをかけることによって同位体である ^{10}B だけを必要な場所に注入することができ、部分的に ^{10}B 濃度を低濃度にしてホウ素含有層4bを形成することができる。またレジストマスクをかけて不必要的場所には ^{10}B を注入しないことも可能である。また、CVD法による成膜の際に ^{10}B を導入する方法を用いる場合には、CVD法による層間絶縁膜形成と同時に高濃度に ^{10}B を導入してホウ素含有層4を形成した後、フォトリソグラフィー及びこれに続くドライエッチングによりホウ素含有層4bを形成する領域のホウ素含有層4を取り除き、その後CVD法による層間絶縁膜形成と同時に低濃度に ^{10}B を導入してホウ素含有層4bを形成してもよい。

【0032】

以上説明したように、この発明の実施の形態2によれば、ホウ素含有層4に導入する ^{10}B の濃度を同一チップ上で分布をもたせ、解析用組み込み回路部1BにおいてP型シリコン半導体基板1上に放射線検出部1Aのホウ素含有層4よりも ^{10}B 濃度の低いホウ素含有層4aを形成したことにより、特に解析用組み込み回路部1B近傍において α 線がP型シリコン半導体基板1に突入することを抑止することができ、ソフトエラー耐性を高めることができるとなる。また、解析用組み込み回路部1BのP型シリコン半導体基板1上に ^{10}B を含有しない層を形成してもよい。これにより、 α 線の発生を極力抑えることができ、ソフトエラーの発生を抑止することができる。このように、解析用組み込み回路部1Bにおけるソフトエラー耐性を高めることにより、更に線量の高い中性子場においても検出器としての使用が可能となる。

【0033】

なお、上述した実施の形態では、 α 線によってPN接合の界面3の近傍で電子-正孔対8を発生させてその電荷量により中性子の量を検出するようにしたが、 α 線の量を直接検出するようにしても良い。

【0034】

また、X(β , α)Y反応（ここで、X, Yは特定の原子核を表す）を起こす核種XをBの代わりに用いることで、すなわち β 線と原子核Xが核反応を起こして α 線と新しい原子核Yを生成する反応を用いることで、この発明を中性子以外の放射線の測定に適用することができる。同様に、X(γ , α)Y反応（ここで、X, Yは特定の原子核を表す）を起こす核種XをBの代わりに用いることで、すなわち γ 線と原子核Xが核反応を起こして α 線と新しい原子核Yを生成する反応を用いることによっても中性子以外の放射線の測定に適用することができる。

【0035】

【発明の効果】

この発明は、以上説明したように構成されているので、以下に示すような効果を奏する。

【0036】

半導体基板上に同位体 ^{10}B を含むホウ素含有層を形成したことにより、中性子と同位体 ^{10}B とを反応させて α 線を放出させることができ、 α 線量に基づいて高精度に中性子量を検出することができる。

【0037】

放出させた α 線によってPN接合部の空乏層において電子-正孔対を発生させることにより、PN接合部の電流から電子-正孔対の電荷量を求めることができ、これに基づいて中性子の量を検出することができる。

【0038】

中性子を検出する領域とは別の領域における半導体基板上に所定の半導体素子からなる解析用回路部を形成し、発生させた電子-正孔対による電荷の解析を行うことにより、中性子を検出する領域と解析用回路部が同一チップ上に配置されることとなり、中性子線を瞬時にモニタすることができ、測定対象の中性子場に

対する擾乱を極力少なくした状態で高精度な中性子の検出を行うことができる。また、中性子を検出する領域と解析用回路部を1チップ上に形成したことにより、検出器を大幅に小型化することができ、かつコストを大幅に低減させることができる。

【0039】

また、解析用回路部におけるホウ素含有層の同位体¹⁰Bの濃度を中性子を検出する領域のホウ素含有層の同位体¹⁰Bの濃度よりも低濃度としたことにより、解析用回路部における α 線の放出を最小限に抑えることができ、ソフトエラーの発生を極力低減させることができる。

【0040】

また、前記解析用回路部に前記ホウ素含有層を設けていないことにより、解析用回路部における α 線の放出を抑止することができ、ソフトエラーの発生を最小限に抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る半導体装置の構成を示す概略断面図である。

【図2】 この発明の実施の形態1に係る半導体装置を示す斜視図である。

【図3】 この発明の実施の形態2に係る半導体装置の構成を示す概略断面図である。

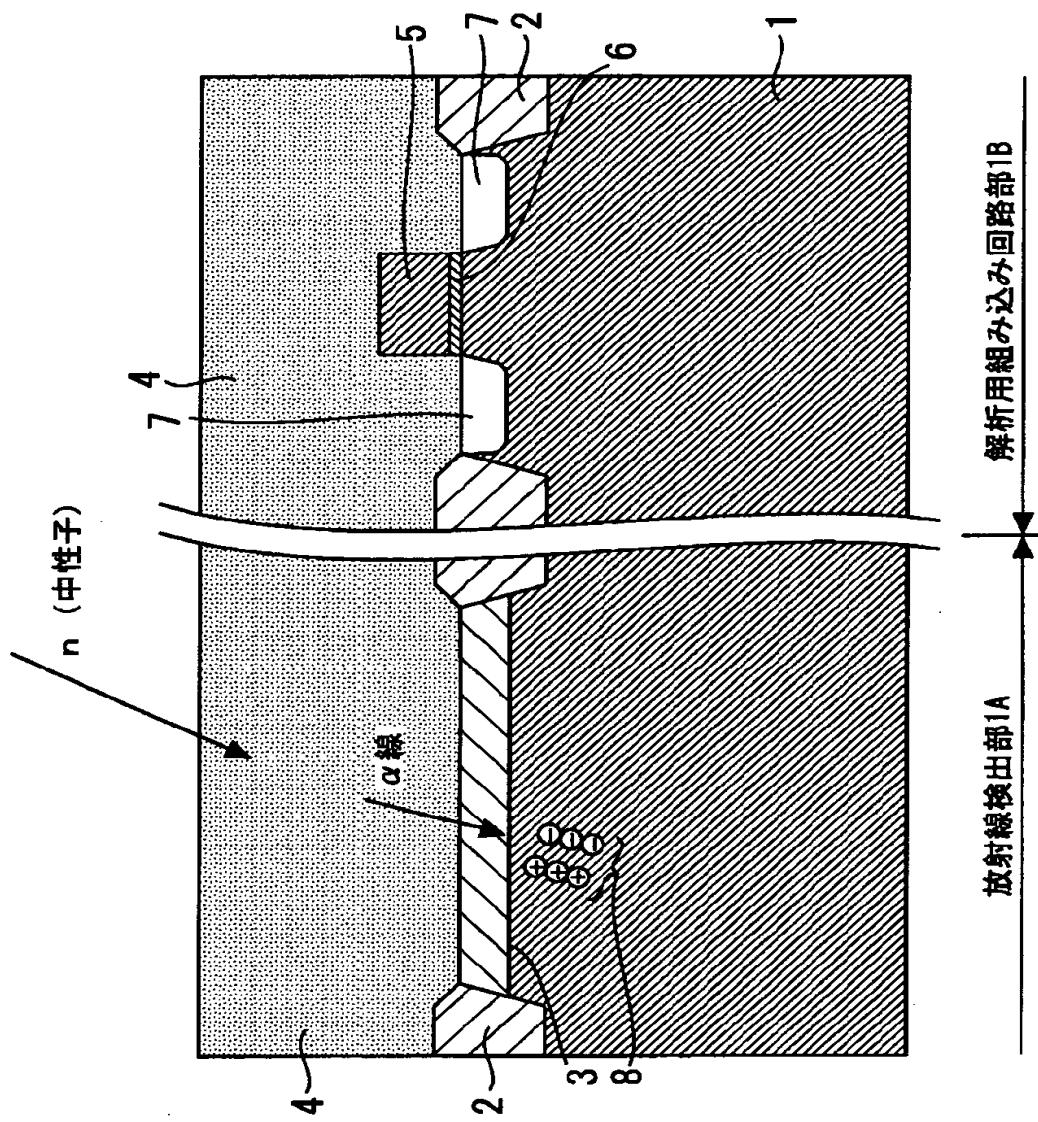
【符号の説明】

1 P型シリコン半導体基板、	1 A 放射線検出部、	1 B 解析用組み込み回路部、	2 素子分離酸化膜、	3 P N接合の界面、	4 , 4
a ホウ素含有層、	5 ゲート電極、	6 ゲート酸化膜、		7 不純物拡散層、	8 電子-正孔対。

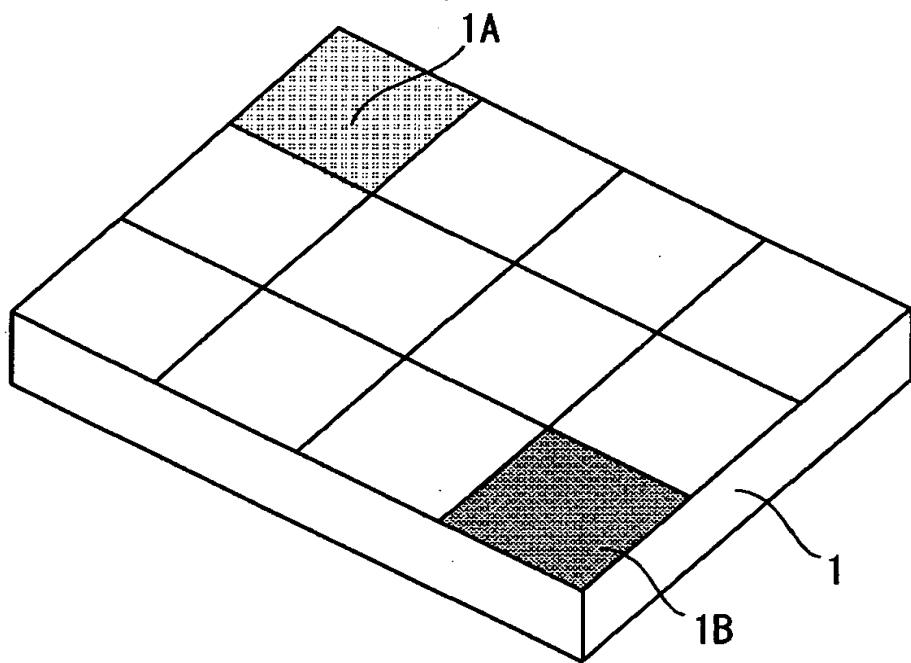
【書類名】

図面

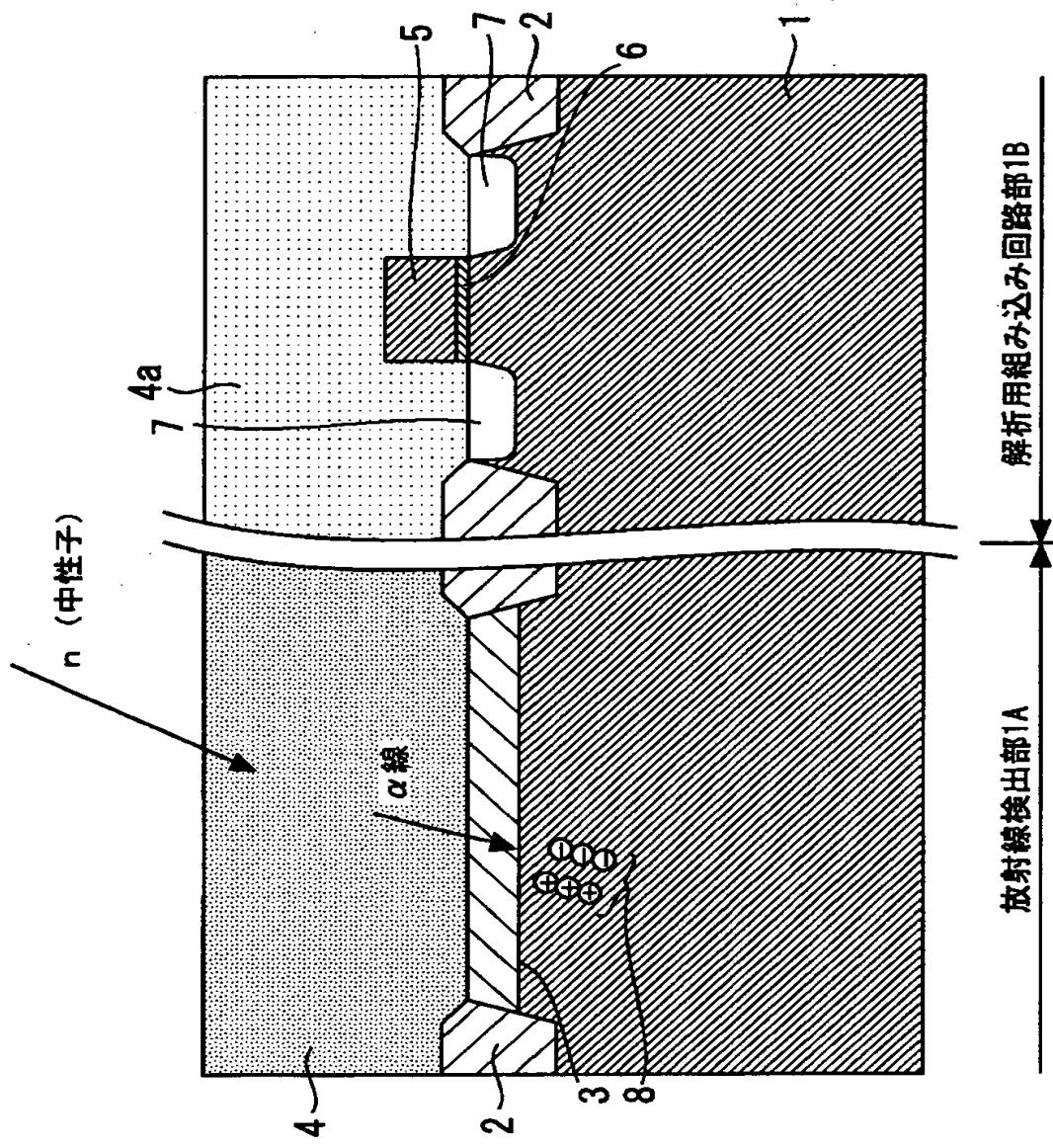
【図1】



【図2】



【図3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 中性子の検出に適し、小型かつ製造コストを低減させた半導体装置及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 半導体基板1上に同位体¹⁰Bを含むホウ素含有層4が形成された半導体装置であって、ホウ素含有層4に向かって照射された中性子と同位体¹⁰Bとを反応させて放出させた α 線を半導体基板1に突入させ、半導体基板に発生させた電子-正孔対8によって中性子の量を検出するようにした。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

氏 名 三菱電機株式会社